

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-170967

(43)公開日 平成10年(1998)6月26日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 2 F 1/39

識別記号

F I
G 0 2 F 1/39

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平8-332140

(22)出願日 平成8年(1996)12月12日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 今西 泰雄

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 石原 慎吾

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

(74)代理人 弁理士 武 顕次郎

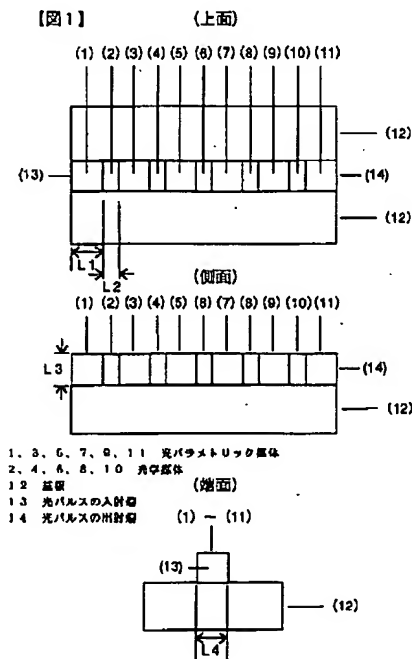
(54)【発明の名称】 光パラメトリック増幅素子

(57)【要約】

【課題】 チャープが少なく、パルス時間幅が数10ピコ秒以下で大振幅の光パルス列を発生することができる光パラメトリック増幅素子を提供すること。

【解決手段】 光パラメトリック媒体(光パラメトリック発振効果を示す媒体)1、3、5、7、9、11と、光学媒体(光パラメトリック発振効果を示さない光透過性の媒体)2、4、6、8、10とを交互に基板12上に配置して、光パルスの入射端13から光パルスの出射端14に至る光路を形成し、光パルスの入射端13から、信号光パルス列とポンプ光パルス列とを入射し、光パルスの出射端14から増幅された信号光パルス列を得るようにしたもの。

【効果】 同期性のとれていない信号光パルスを、その到達時刻を別途計測することなく、低ノイズにて増幅することができる。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光パラメトリック効果を示す媒体からなる光路の一方の端部から信号光とポンプ光と一緒に入射し、他方の端部から増幅された信号光が得られるようにした光パラメトリック増幅素子において、前記光パラメトリック効果を示す媒体が、前記光路内で、光の通過方向に沿って所定の長さに分割されており、

前記信号光の波長を λ_1 、前記ポンプ光の波長を λ_2 としたとき、波長 λ_1 の $1/2$ 倍が波長 λ_2 に等しくなるように構成したことを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項2】 請求項1の発明において、前記信号光とポンプ光が、パルス時間幅 t_1 で、かつ時間間隔 T_1 の光パルス列であり、前記光パラメトリック効果を示す媒体の間隔が、該媒体中での光の伝播速度と前記パルス時間幅 t_1 の積以下の値に設定されていることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項3】 請求項1又は請求項2の発明において、前記光パラメトリック効果を示す媒体の長さが、該媒体が波長 λ_1 、 λ_2 において示す屈折率をそれぞれ n_1 、 n_2 としたとき、 $\lambda_1/2(n_1 - n_2)$ に等しい値に設定されていることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項4】 請求項3の発明において、前記光パラメトリック効果を示す媒体が、その長さを単位とした周期構造に作られていることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項5】 請求項4の発明において、前記光パラメトリック効果を示す媒体の間が、該媒体とは異なる別の媒体で充填されていることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項6】 請求項4の発明において、前記光パラメトリック効果を示す媒体の間が、該媒体とは異なる方位の媒体で充填されていることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項7】 請求項1～請求項6の何れかの発明において、前記光パラメトリック効果を示す媒体に電場を印加する電極が設けられていることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項8】 請求項1～請求項7の何れかの発明において、前記光パラメトリック効果を示す媒体が、高分子有機材料中に低分子有機材料を分散させた有機材料で構成されていることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【請求項9】 請求項1～請求項8の何れかの発明において、前記波長 λ_1 値が $1.2\mu\text{m}$ から $1.7\mu\text{m}$ の範囲にあ

ることを特徴とする光パラメトリック増幅素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光パラメトリック発振効果を利用した光パラメトリック増幅素子に係り、特にチャープ(波長幅の変化)が少なく、パルス幅とパルス間隔の狭い大容量の光パルスの増幅が可能な光パラメトリック増幅素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、光通信の実用化は目覚ましく、例えば、電話システムでは、複数の家庭やオフィス等の情報発信源から電話回線を介して長距離通信の中継局に集められた電気信号を、光信号に変換した上で光ファイバを介して数百km離れた別の中継局に送り、そこで再び電気信号に変換してから目的の情報受信源に送られるようにしている。

【0003】しかし、近年のマルチメディア社会の急速な発展に伴い、より多くの情報伝送可能にする大容量高速光通信への要求は高まる一方であり、例えば、上記した電話システムでも、近年は、情報発信源の数の増加だけでなく、伝送すべき情報として、単純な音声に加えて、コンピュータのデータファイルや画像のように、さらに大容量化され、しかも、その伝送のより高速化が強く要求されるようになってきている。

【0004】そして、このためには、例えば、情報発信源側で直ちに光信号化して伝送する方式も提案されているが、さらに、この対応策としては、よりパルス幅の短い光パルスをを用いることにより、単位時間当りの信号量の増加が得られるようにする方法も注目されている。

【0005】ところで、このような光信号伝送用としては、主としてシリカガラス製の光ファイバが用いられるので、このシリカガラス製のファイバでの光伝送損失が最小になる $1.3\mu\text{m}$ 、又は $1.5\mu\text{m}$ の波長の光が信号光として用いられている。

【0006】そして、この波長での光伝送損失は 0.5dB/km 程度であるが、しかし、僅かでも波長が異なると、すぐに伝送損失は 1dB/km を越えてしまう。

【0007】従って、光通信用の光源としては、光ファイバの特性に合わせた単色性の良いレーザを用い、それから発生されるレーザ光を光変調器に入射させ、情報となる電気信号に応じて変調を掛けることにより、その強度を変化させ、光パルス列を発生させて光信号を形成するようにしている。

【0008】ところで、このような光パルスをを用いた光通信においても、数百kmにわたり光パルスを伝送すると光信号が減衰するので、途中に中継器を設置し、光パルスを増幅する方が採られている。そして、現在、用いられている中継器は、到達した光信号を光検出器により一旦電気信号に変換し、電気的に増幅、再生、リタイ

ミング等の復調処理を行ってから、その電気信号によりレーザ光を変調し、再び光信号にして次の受信基地まで送信する方式になっている。

【0009】しかしながら、より高速の動作を可能にするという見地からすると、このような、いわば電気信号方式の中継器ではなくて、光信号のまま直接、中継に必要な増幅などの処理が行える装置が望ましい。現在、このような光信号の直接増幅が可能な装置、すなわち光増幅装置としては、エルビウム(Er)をドープした光ファイバによる光ファイバ増幅装置や、半導体レーザの再発振による装置などが検討されている。

【0010】これらの内、まず光ファイバ増幅装置では、Erをドープした数百μm以上の長さの石英ファイバを用い、このファイバの一端から、波長1.06μmの光のYAGレーザ光と、波長1.5μmの増幅すべき信号光とを、時間を調整して入射させると、まずYAGレーザ光によりファイバ中のErイオンが励起され、後から到達する信号光が引き金となって誘導放出を起こし、信号光にその放出光が加算されることにより増幅機能が得られるものである。

【0011】次に、半導体レーザの再発振を用いた装置では、増幅すべき信号光と同じ発振波長を有する半導体レーザを用い、電荷の注入により励起された半導体レーザのレーザ媒体に、外部から信号光を導入すると、その信号光が引き金となって誘導放出を起こし、信号光にその放出光が加算されることにより増幅機能が得られるものである。

【0012】これ以外の光増幅方式には、非線形光学材料を用いたものが知られているが、この非線形光学素子は、2次、3次の光高調波発生、光混合、または光パラメトリック発振を利用した波長変換素子、光スイッチとしての光双安定素子等、将来実現すると予想される光コンピュータの基本素子としても注目を集めているものである。

【0013】ところで、この非線形光学材料としては、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)、砒素化ガリウム(GaAs)等の無機材料が従来から検討されているが、近年、それらの材料に比べ、非線形光学性能が格段に大きく(10~100倍)、また光双安定素子等で重要になる光応答速度が極めて大きい、有機非線形光学材料が研究されるようになった。

【0014】この有機非線形光学材料としては、MNAと略称されている尿素、2メチル、4ニトロアニリンや、NPPと略称されているN(4ニトロフェニル)ピロリノールなどがあり、前者については、特開昭55-500960号公報に提案があり、後者については、特開昭59-21665号公報に提案がある。そして、これらMNAやNPPは、無機材料の100倍以上の2次の非線形光学効果を有することが知られている。

【0015】ところで、この光増幅の方式にもいくつか

の方式があるが、近年、着目されているのが、2次の非線形光学効果を用いた光パラメトリック発振方式である。ここで、光パラメトリック発振とは、ある振動数 ω_p を持つ光が2次の非線形光学媒体を通過すると、それより低い振動数 ω_i 、 ω_s の2種の光を発生する現象であり、振動数 ω_i の光をアイドラ光と呼び、振動数 ω_s の光をシグナル光と呼ぶ。

【0016】なお、この光パラメトリック発振の詳細については、次の刊行物に開示されている。

10 A.Yariv著「Quantum Electronics」第3版

John Wiley&Sons出版 1998年

【0017】次に、この光パラメトリック発振によれば、どのような2種の光が発生し得るのかについて考察すると、以下の通りである。まず、エネルギー保存則から、次式、すなわち、

$$\omega_p = \omega_i + \omega_s$$

が成立し、次に、運動量保存則から、位相整合条件により、次式、すなわち、

$$\omega_p \times n(\omega_p) = \omega_i \times n(\omega_i) + \omega_s \times n(\omega_s)$$

20 が成立する。ここで、 $n(\omega_p)$ 、 $n(\omega_i)$ 、 $n(\omega_s)$ は、それぞれ振動数 ω_p 、 ω_i 、 ω_s における非線形光学媒体の屈折率を表わす。

【0018】このような条件は、等方性媒体では成立し得ず、異方性媒体を用い、ポンプ光の入射角を変化させることにより、この条件を満たす方位を決定している。この効果は、波長可変のレーザとして用いられ、目的の波長の光を強い強度で取り出すことができる。

【0019】例えば、振動数 ω_i のアイドラ光を用いたいと希望するときには、その振動数の光を選択的に閉じ込めることができる共振器鏡を用い、これで非線形光学媒体を挟むという技法を用いるのである。

【0020】なお、この技法については、下記の刊行物に記載がある。

宇加地 孝志著「新有機非線形光学材料Ⅱ」第1版、1991年、シーエムシー出版「β-BaB₂O₄結晶を用いた光パラメトリック発振」

【0021】このようなエネルギー保存則と位相整合条件を満たす方位から非線形光学媒体にポンプ光を導入すると、アイドラ光とシグナル光が発生し、このとき、アイドラ光又はシグナル光と同じ波長の信号光をポンプ光と同時に入射すると、信号光の強度が加算され、増幅効果を示す。これが光パラメトリック増幅の原理である。

【0022】なお、このような光パラメトリック増幅器のうち、化合物半導体を用いた光パラメトリック増幅器については、特開昭56-164588号公報や特開昭61-172392号公報、それに特開平6-75262号公報に開示があり、有機化合物を用いた光パラメトリック増幅器については、特開平6-503892号公報が、そして、半導体の反転分極構造を用いた光パラメトリック増幅器については、特開平7-254752号

公報が、それぞれ開示している。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術は、パルス幅とパルス間隔が狭い光信号の増幅についての配慮がされているとは言えず、大容量光通信への適用に問題があった。上記したように、長距離光通信には、伝送損失を回復するための光増幅器が必要であり、このとき、単位時間当たり、より多くの光パルスを伝送する大容量光通信においては、より短い光パルスを短い時間間隔で送り続ける必要がある。しかるに、以下に説明するように、上記従来技術では、この要求を満たすことができず、従って、大容量光通信への適用に問題が生じてしまうのである。

【0024】まず、従来技術のなかで、光信号を一旦電気信号に戻し、電氣的に増幅後、光パルスに戻す方式の装置では、数10GHz以上の極めて短い時間間隔の光パルス列に追従できない。

【0025】このため、光のままで効率的な増幅が得られるようにした光増幅が必要であるが、従来の光ファイバ増幅装置や半導体レーザの再発振等によるレーザ媒質の誘導放出を利用する方式の装置では、レーザ媒体を励起するための時間を要するため、レーザ発振特性以上の高繰返しで到達する光パルスを増幅することができなかった。

【0026】特に、Erドープファイバを用いた光増幅方式では、ファイバ中の群速度分散のためにチャープ(波長幅の変化)が生じ、 $f_s (=10^{-15} \text{ 秒})$ 台の超高速光パルスには適用できなかった。

【0027】また、このような数10GHz以上の極めて短い時間間隔の光パルス列をそのまま増幅するため、光パラメトリック効果を用いた光増幅を用いた場合には、信号光パルスとポンプ光とを同時に光パラメトリック媒体に導入させる必要があるため、短い光パルス列になる程、両者のタイミングを同調させるのが困難になり、所期の性能が得られないという問題があった。

【0028】これまでのところ、提案されている光パラメトリック効果を用いた方式としては、例えば、特開平1-231033号公報に記載のものがあるが、この方式では、このために信号光パルスを電氣的に検出し、それによってポンプ光との同調をとるようにしており、この結果、電氣的制御系で得られる時間精度と時定数の範囲でしか同調させることができなかった。

【0029】このため、従来の光パラメトリック増幅器では、常時ポンプ光を入射させておく必要があり、ポンプ光の損失や、ポンプ光自身による自発的パラメトリック光発生等によるノイズの問題があった。

【0030】本発明の目的は、チャープが少なく、パルス時間幅が数10ピコ秒以下で大振幅の光パルス列を発生することができる光パラメトリック増幅素子を提供することにある。

【0031】

【課題を解決するための手段】前記目的は、まず、光パラメトリック効果を示す媒体からなる光路の一方の端部から信号光とポンプ光と一緒に入射し、他方の端部から増幅された信号光が得られるようにした光パラメトリック増幅素子において、光パラメトリック効果を示す媒体が、前記光路内で、光の通過方向に沿って所定の長さに分割されており、前記信号光の波長を λ_1 、前記ポンプ光の波長を λ_2 としたとき、波長 λ_1 の $1/2$ 倍が波長 λ_2 に等しくなるようにして達成される。

【0032】前記目的は、さらに、前記信号光とポンプ光がパルス時間幅 t_1 で、かつ時間間隔 T_1 の光パルス列であり、前記光パラメトリック効果を示す媒体の間隔が、該媒体中での光の伝播速度と前記パルス時間幅 t_1 の積以下の値に設定されるようにしても達成される。

【0033】前記目的は、さらに、光パラメトリック効果を示す媒体の長さが、該媒体が波長 λ_1 、 λ_2 において示す屈折率をそれぞれ n_1 、 n_2 としたとき、 $\lambda_1/2(n_1 - n_2)$ に等しい値に設定されるようにして達成される。前記目的は、さらに、前記光パラメトリック効果を示す媒体が、その長さを単位とした周期構造に作られているようにしても達成される。

【0034】前記目的は、さらに、前記光パラメトリック効果を示す媒体の間が、該媒体とは異なる別の媒体で充填されているようにしても達成される。前記目的は、さらに、前記光パラメトリック効果を示す媒体の間が、該媒体とは異なる方位の媒体で充填されているようにしても達成される。前記目的は、さらに、前記光パラメトリック効果を示す媒体に電場を印加する電極が設けられているようにしても達成される。

【0035】前記目的は、前記光パラメトリック効果を示す媒体が、高分子有機材料中に低分子有機材料を分散させた有機材料で構成されているようにしても達成される。前記目的は、前記波長 λ_1 値が $1.2 \mu\text{m}$ から $1.7 \mu\text{m}$ の範囲にあるようにしても達成される。

【0036】 λ の周期幅を持つ非線形光学媒体に $\lambda/2$ の光を導入すると、この波長の光が媒質中に蓄えられ、ここに λ の光を信号光を入れると、パラメトリック発振効果により、 $\lambda/2$ の光のエネルギーが λ の光に移る。本発明では、この構成を基本単位として、多数連結することにより、信号光をチャープなしに増幅することができる。

【0037】特に、このとき、光パルスの時間幅によって設定される配置を取ること、信号光とポンプ光の同期信号を電氣的に計測する必要がなくなり、高速に信号光を増幅することができる。このような光パラメトリック増幅素子は、パラメトリック効果を示す媒体のコヒーレンス長より光パルス時間幅の間に光が進行する時間が等しいか、もしくは短いようなピコ秒以下の極短光パルスをを用いた光通信の光信号増幅素子として特に有効に

用いることができる。

【0038】本発明によれば、光／電気変換、電氣的増幅、電気／光変換の一連の操作を必要とせず、全く光学的に光信号中継器を実現できる。又、本発明によれば、半導体やファイバアンプ等の手法に比して、より高速、かつ高繰り返しの大容量光通信に使用可能な光増幅器が実現できる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明による光パラメトリック増幅素子について、図示の実施形態例により詳細に説明する。まず、最初に本発明による光パラメトリック増幅素子の基本構造について、図1により説明する。

【0040】この図1において、1、3、5、7、9、11は光パラメトリック媒体(光パラメトリック発振効果を示す媒体)、2、4、6、8、10は光学媒体(光パラメトリック発振効果を示さない光透過性の媒体)、そして12は基板、13は光パルスの入射端、そして14は光パルスの出射端である。

【0041】光パラメトリック媒体1～11と光学媒体2～10は、平面状の基板12の一方の表面に、図示のように、入射端13から出射端14に向かう光パルスの伝播方向に沿って、一列に並んで交互に配置されており、これにより、入射端13から出射端14に至るまでの光路を形成している。

【0042】ここで、まず、前提条件として、光パラメトリック増幅を行う信号光パルスの波長を λ_1 、パルス時間幅を t_1 、パルス間隔を T_1 とする。そして、この信号光パルスを、同じパルス時間幅 t_1 、パルス間隔 T_1 ではあるが、波長が λ_2 のポンプ光パルス列により増幅するものとする。このとき、 $\lambda_1 > \lambda_2$ とする。

【0043】次に、光パラメトリック媒体1～11のそれぞれが、波長 λ_1 、 λ_2 において示す屈折率をそれぞれ n_1 、 n_2 とする。そこで、まず、これら光パラメトリック媒体1～11のそれぞれの光路方向の長さ、つまり光パラメトリック長さ L_1 は、次の式で与えられる光パラメトリック発振のコヒーレンス長に等しくしてある。

$$【0044】L_1 = \lambda_1 / 2(n_1 - n_2)$$

次に、光学媒体2～10の光路方向の長さ L_2 は、次の式を満たすように選択されている。

$$【0045】c_1 = c_0 / n_1$$

$$L_5 = c_1 \times t_1$$

$$c_3 = c_0 / n_3$$

$$t_3 = L_2 / c_3$$

$$N = T_1 / t_3$$

ここで、 c_0 は真空中での光の速さ、 c_1 は光パラメトリック媒体1～11内での屈折率 n_1 のときの光の速さ、 L_5 は時間幅 t_1 の間に速さ c_1 の光が進む距離、 n_3 は光学媒体2～10の屈折率(波長 λ_1 、 λ_2 の時の屈折率のうち最小のものとする)、 c_3 は光学媒体2

～10内での光の速さ、 t_3 は光学媒体2～10内を光が進む時間である。

【0046】ここで、 N は光パラメトリック媒体とそれに続く光学媒体を一組としたときに信号光が通過する組数を表す。例えば、図1の場合には、このようなパルスの重なり度を示す係数で、1より大きい整数であり、図1の場合は、光パラメトリック媒体と光学媒体の組が5組続いているため、 $N=5$ となる。

【0047】本発明の場合には、多くの光パラメトリック媒体を通過すればする程、光の増幅が得られるため、この N を大きくするにつれて増幅率も大きく得られることになる。

【0048】次に、図1において、寸法 L_3 は、光パラメトリック媒体1～11と光学媒体2～10の高さ(基板12の表面に垂直な方向の寸法)で、寸法 L_4 は、同じく幅(基板12の表面と平行な方向の寸法)であり、光路の断面寸法となる。

【0049】このとき、光パラメトリック媒体1～11と光学媒体2～10とは、同じ断面寸法にしてあり、これにより光路の整合が保たれるようにしてある。

【0050】ここで、これらの寸法 L_3 、 L_4 については、特に制限はないが、光通信において伝送される信号光パルスの増幅においては、より効率よく信号光を増幅するために、光導波路中に光を閉じ込めて伝送されるため、これらの寸法 L_3 、 L_4 により定まる光路の断面の大きさについても、それと同様の大きさにすることが望ましい。

【0051】また、このとき、信号光パルスとポンプ光パルスの偏光方向は、光パラメトリック媒体1～11に使用される光パラメトリック媒質の種類によって異なり、例えば擬似位相整合型の光パラメトリック媒質では、媒体の2次の非線形光学定数 d_{33} を与える方向に、信号光とポンプ光の2種の光パルスの偏光方向を平行に取ることが望ましい。

【0052】次に、このような光パラメトリック増幅素子において、本発明による光パラメトリック増幅素子と、従来技術による光パラメトリック増幅素子の、ポンプ光によるノイズ発生の違いについて、図2を用いて説明する。なお、この図2では、説明を容易にするため、 P_1 、 P_2 、 P_3 の3個の光パラメトリック媒体が連なっている擬似位相整合の場合について比較する。

【0053】図2(a)に示す従来技術の場合には、第1の光パラメトリック媒体 P_1 の長さ($x_1 - x_0$)と、第2の光パラメトリック媒体 P_2 の長さ($x_3 - x_2$)、それに第3の光パラメトリック媒体 P_2 の長さ($x_5 - x_4$)を、それぞれ最も効率的な擬似位相整合型光パラメトリック増幅素子として働く長さであるコヒーレンス長にしてあり、さらに、これら光パラメトリック媒体 P_1 、 P_2 の間の間隔($x_2 - x_1$)と、光パラメトリック媒体 P_2 、 P_3 の間の間隔($x_4 - x_3$)も同じ長さに

し、これにより光増幅が得られるように構成してある。
【0054】これは、位相整合型以外の光パラメトリック媒体では、パラメトリック媒体中を進行した距離により信号光の増幅が起こるが、それも第1番目のコヒーレンス長(ここでは、 $\times 2 - \times 1$)までで、それ以上に光パラメトリック媒体が続くと、次の第2のコヒーレント長までは光が減衰されてしまう。

【0055】以下、同様に、次の第3番目のコヒーレンス長までは光増幅、続く第4番目のコヒーレンス長までは光減衰と周期的に光信号の増幅減衰を繰り返す。そこで、疑似位相整合型では、この光減衰が生じる偶数番目の光学媒体を、光パラメトリック媒体から通常の光学媒体に変えることにより信号の減衰が生じないようにし、奇数番目の光パラメトリック媒体だけを残すことにより、増幅機能だけが起るようにしたものである。

【0056】そこで、この従来技術による光パラメトリック増幅素子に、図示のように、ポンプ光パルス列が入射されると、この入射されたポンプ光パルス列が光パラメトリック増幅素子を通過するとき、外部から来る信号光以外に、このポンプ光パルス列により、パラメトリック発振可能なすべての光が微弱ながら発生する。

【0057】そうすると、この光の中の、素子の構造によって選択的に増幅するように設定してある波長成分が、その素子の中で増幅され、図示の自発的パラメトリックパルスとして発生されてしまう。この光は、ポンプ光パルス列単独で、信号光とは無関係に発生されてしまうため、増幅素子のノイズとなる。

【0058】そこで、本発明による光パラメトリック増幅素子では、図1の構成を採用し、これにより、図2(b)に示すように、隣接する光パラメトリック媒体の間隔がコヒーレンス長よりも短くなるようにしたものであり、この結果、図示のように、ポンプ光パルス列により発生した自発的パラメトリックパルスについて、光パラメトリック増幅が連続して起こらないようにでき、ポンプ光単独でのノイズ光の発生を抑え、ノイズの抑制が得られるようにしたものである。

【0059】次に、本発明の光パラメトリック増幅素子による信号光パルスの増幅方式について、図3により説明する。なお、説明を簡単にするため、ここでは、光パラメトリック媒体が2個連なっている疑似位相整合の場合について説明する。

【0060】まず、図3(a)に示す動作原理1による増幅方式について説明すると、この方式では、信号光パルス列と同じ繰り返し時間を有する光パルス列をポンプ光パルス列Aとして用い、これを、本発明の光パラメトリック増幅素子を構成する光パラメトリック媒体P1、P2に入射する。

【0061】そして、これにより、ポンプ光パルスAが、光パラメトリック媒体P1、P2からなる光パラメトリック素子中を一定の繰り返し時間で通過している状

態にした上で、ここに信号光パルス列が入射されるようにするのであるが、このとき、ポンプ光パルス列Aと到達時間が同期されている信号光パルス列Cが入射された場合と、同期されていない信号光パルス列Dが到達した場合とを想定する。

【0062】信号光パルス列Cのとき、つまり同期されている場合は、ポンプ光パルス列Aと信号光パルス列Cとは、ほぼ同時に光パラメトリック媒体P1、P2を通過するため、ポンプ光パルスのエネルギーが信号光パルスに伝搬され、パラメトリック増幅が生じる。

【0063】しかして、信号光パルス列Dのとき、つまり同期されていない場合は、ポンプ光パルス列Aと信号光パルス列Dとは部分的にしか重なり合わなくなって、図示のように、一部だけが増幅された歪んだ光パルスとなり、不完全な増幅しか得られなくなったり、或いは到達時間が丁度2分の1周期ずれた場合は、図示していないが、全く重ならないため、増幅作用が全く得られなくなってしまう。従って、この図3(a)の方式を採用した場合、このままでは、信号光パルスの到達時間を別に測定し、ポンプ光パルスの同期を取る必要がある。

【0064】そこで、次に、同期が取られていない場合でも、信号光パルス列Dについて均等に増幅が得られるような増幅方式について、図3(b)により説明する。この図3(b)に示す、動作原理2による増幅方式では、ポンプ光パルス列Aを用いる点は、動作原理1の場合と同じであるが、さらに、このポンプ光パルス列Aと繰り返し時間が半分の間隔ずれたポンプ光パルス列Bを別の光学系により生成させ、このポンプ光パルス列Bを、ポンプ光パルス列Aと一緒に本発明の光パラメトリック増幅素子を構成する光パラメトリック媒体P1、P2に入射するのである。

【0065】そうすると、図示のように、図3(a)に示す信号光パルス列Dがポンプ光パルス列Aとずれている部分は、ポンプ光パルス列Bと重なることになり、この結果これを同様に本発明の光パラメトリック増幅素子に導入すると、ポンプ光パルス列Aにより部分的にしか増幅されなかった信号光パルス列Dの残りの部分は、ポンプ光パルス列Bにより増幅されることになり、信号光パルス列Eとして示すように、常に完全な増幅を得ることができる。

【0066】なお、これは、連続したポンプ光を用いて、同様に同期されていない信号を増幅できるようにした従来技術と類似しているように見えるが、全く異なるものである。

【0067】なぜなら、従来技術のように、連続光を入射した場合には、1個の光パラメトリック媒体内部で、ポンプ光だけによるノイズ光が常時発生させ続けられてしまうことになると共に、その増幅が引き起こされてしまうため、ノイズの増加が著しくなってしまうが、この図3(b)の動作原理2の場合には、それぞれのポンプ

光パルス列Aとポンプ光パルス列Bについて、図2(b)に示した自発的パラメトリックパルスの抑制動作が得られるので、ノイズの虞れはほとんどないからである。

【0068】次に、本発明の一実施形態として、本発明による光パラメトリック増幅素子を用いた、光通信中継器用の光増幅器について、図4により説明する。この図4において、15は高繰り返しレーザ光源、16、20は光混合素子、17、21は第1と第2の光パラメトリック増幅素子、18、22は波長分割素子、19は光遅延素子、23は光吸収体、24は光入力端子、25は光出力端子であり、これらの間には、光ファイバやミラーなどにより、図に太い黒線で示した光路が形成されている。

【0069】第1と第2の光パラメトリック増幅素子17、21は、図1に示した本発明による光パラメトリック増幅素子である。光入力端24は、光ファイバなどで伝達された増幅すべき信号光パルス列の入射口で、ここに供給される信号光パルス列の波長は、上記したように、 λ_1 である。高繰り返しレーザ光源15は、ポンプ光パルス列を発生し、これを光混合素子16の一方の入力に供給する働きをする。このポンプ光パルス列の波長は、上記したように、 λ_2 である。

【0070】光混合素子16、20は、一方の入力に供給された波長 λ_1 の光と、他方の入力に供給された波長 λ_2 の光と混合して出力する働きをする。波長分割素子18、22は、入力された波長 λ_1 と波長 λ_2 の光を分割して、一方の出力には波長 λ_1 の光だけを、そして、他方の出力には波長 λ_2 の光だけをそれぞれ取り出す働きをする。

【0071】光遅延素子19は、波長 λ_2 の光を所定時間遅延する働きをする。なお、この所定の遅延時間については、後述する。光吸収体23は、主として波長 λ_2 の光を効率良く吸収する働きをする。

【0072】光出力端子15は、増幅された信号光パルス列の出射口で、光ファイバ伝送路などに接合され、増幅された信号光パルス列を送出する働きをする。

【0073】次に、この図4の実施形態の動作について説明する。まず、レーザ光源15から出力されるポンプ光パルス列を、図3(a)に示すポンプ光パルス列Aとする。ここで、このレーザ光源15は、図示のように、光入力端子24から入射される信号光パルス列とは無関係に単独で動作しているので、これから出力されているポンプ光パルス列Aは、光入力端子24から入射される信号光パルス列とは同期性がなく、従って、同じく図3(a)に示す信号光パルス列C、又はDとなる。

【0074】そこで、まず、これらポンプ光パルス列Aと、信号光パルス列C、又はDは、光混合素子16により混合されて第1の光パラメトリック増幅素子17に導入され、ここで図3(a)で説明したように、部分的に増幅されてから出力される。

【0075】次に、この第1の光パラメトリック増幅素子17から出力された光は波長分割素子18に入力され、ここで一旦、波長 λ_1 の光パルス列、つまり部分的に増幅された信号光パルス列C、又はDと、波長 λ_2 の光パルス列、つまりポンプ光パルス列Aとに分割される。

【0076】そして、このうち部分的に増幅された信号光パルス列C、又はDは、そのまま光混合素子20に供給されるが、波長 λ_2 のポンプ光パルス列Aは、まず光遅延素子19に入力され、ここでパルス列の半周期分だけ光学的に遅延された後、光混合素子20に供給される。

【0077】そこで、この光遅延素子19から出力されるポンプ光パルス列について見てみるとは、これは、ポンプ光パルス列Aをパルス列の半周期分だけ光学的に遅延させたものであるから、ポンプ光パルス列Aと信号光パルス列C、又はDとの位相関係では、図3(b)に示すポンプ光パルス列Bと同じになっている。

【0078】そして、これらが光混合素子20で再び合成され、第2の光パラメトリック増幅素子21に導入されるので、ここでは、図3(b)に示すポンプ光パルス列Bによる増幅作用が得られ、この結果、信号光パルス列Dの第1の光パラメトリック増幅素子17で増幅されなかった部分が増幅され、全体的に増幅された信号光パルス列Eが、この第2の光パラメトリック増幅素子21から出力されることになる。

【0079】この第2の光パラメトリック増幅素子21から出力された光パルス列は波長分割素子22に入力され、ここで再び波長 λ_1 の光パルス列と、波長 λ_2 の光パルス列に分割されたあと、波長 λ_2 の光パルス列、つまりポンプ光パルス列Bは光吸収素子23に導かれて除かれ、波長 λ_1 の光パルス列、つまり信号光パルス列だけが光出力端子25に伝達されることになり、この結果、増幅された信号光パルス列を光出力端子25から得ることができる。

【0080】従って、この図4の実施形態によれば、光入力端子24から信号光パルス列を入射することにより、光出力端子25から光増幅された信号光パルス列を得ることができ、光ファイバ伝送路に設置することにより、光通信用の中継器として動作する光増幅器を得ることができる。

【0081】そして、この図4の実施形態によれば、信号光パルス列とポンプ光パルス列の同期性を取ることなく、まず到達した光をそのまま増幅し、後に波形整形や信号分割等の処理を行うことができるので、読み取り誤差なく、光信号を処理することができる。

【0082】次に、本発明による光パラメトリック増幅素子の一実施形態の作製手順について説明する。但し、対象となる材料や作製手順は、この実施形態に示すものに限定されるものではない。

【0083】まず、以下の実施形態では、信号光の波長 λ_1 として、波長 $1.6\mu\text{m}$ の光を増幅する素子、つまり波長 $\lambda_1 = 1.6\mu\text{m}$ の光パラメトリック増幅素子の構成について、図5により説明する。まず、面積 1cm^2 、厚さ 1mm 、表面を 20 分の $1\mu\text{m}$ (λ)の精度に光学研磨した熔融石英の板材からなる基板26を用意する(図5(A))。次に、この基板26の片側表面に、スパッタ法により厚さ 10nm のITO透明電極27を蒸着する(図5(B))。

【0084】次に、この透明電極27の上面にフォトレジストをスピンコートし、フォトマスクを用いてパターン形成光重合、未重合レジスト除去、エッチング、硬化レジスト除去の一連の処理手順により、表面上に、図6に示すような電極幅 $6\mu\text{m}$ 、電極間 $50\mu\text{m}$ の櫛型パターンを有する透明電極27'に成形する(図5(C))。次に、全体を、 $4-(\text{N}, \text{N}-\text{ジメチル})\text{アミノ}-4-\text{ニトロトラン}((\text{H}_3\text{C})_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NO}_2)$ を1重量パーセント混合したポリメタクリル酸メチルのクロロホルム溶液を浸漬、引き上げし、これを緩やかに溶媒蒸発させて、厚さ $1.6\mu\text{m}$ の高分子層28を透明電極27'の上に形成する(図5(D))。

【0085】次に、この高分子層28の上に、真空蒸着により金を約 20nm 蒸着し、金電極29を形成する(図5(E))。次に、この試料をボーリング処理する(図5(F))。すなわち、この試料を 95°C に保持しつつ、ITO透明電極27と金電極29の間に直流電圧を印加し、電界強度($10\text{V}/\mu\text{m}$)に保つ。この状態で3時間保持した後、電圧を印加したまま、1時間に 10°C の割合で温度を降下させ、試料を室温にし、ボーリングされた高分子層28'を形成する。

【0086】最後に、マスクパターンにより、酸素ラジカルの反応性イオンエッチングを行い、金電極29とボーリングされた高分子層28'の一部を、幅 $1.6\mu\text{m}$ 、長さ 1cm 残して、光導波路構造を形成し、光パラメトリック増幅素子を得た(図5(G))。

【0087】こうして得た光パラメトリック増幅素子において、基板26が、図1の実施形態における基板12を構成し、ボーリングされた高分子層28'の金電極29が存在している部分が、図1の実施形態における1、3、……を構成し、金電極29が存在していない部分が、図1の実施形態における2、4、……を構成していることになる。

【0088】ここで、ボーリング処理について説明すると、一般に、光パラメトリック機能のような2次の非線形光学効果を発現させるためには、媒体を構成する原子、分子の配列が非中心対称性になっていること、つまり等方性で無いことを要する。

【0089】そこで、塗布した直後の高分子膜は、光パラメトリック機能を果たす分子(ここでは、 $4-(\text{N}, \text{N}-\text{ジメチル})\text{アミノ}-4-\text{ニトロトラン}$)がランダムに配

列しているのを、ボーリングにより電場方向に分子を揃えて非中心対称性が得られるようにしているのである。

【0090】なお、本発明による光パラメトリック増幅素子の実施形態は、上記した図5のもの以外にも、ニオブ酸リチウム単結晶に微細加工を施して形成することもでき、従って、本発明の実施形態としては、光パラメトリック媒体の大きさと配置が図1の実施形態と同じ条件を満たすように加工できるならば、その素材や作成方法に限定されない。

【0091】次に、比較のため、同様の処理手順で、図5の(F)に示したボーリング処理を省略することにより、光パラメトリック効果を示さない光導波路構造の素子を並行して作成し、これを用いて、図5の処理手順で作成した光パラメトリック増幅素子による光パルス列の増幅効果の確認結果について、図7の効果確認実験システムにより説明する。

【0092】最初に、信号光パルス列とポンプ光パルス列の発生系について説明する。まずアルゴンガスレーザ励起のチタンサファイアレーザ30を用い、これにより、パルス時間幅 80fs 、繰り返し周波数 82MHz 、発振波長 $0.8\mu\text{m}$ 、1パルス当りのエネルギー 1pJ (10^{-12} ジュール)の光パルスを発生させ、これを再生増幅器31により、パルス時間幅 80fs 、繰り返し周波数 1kHz 、発振波長 $0.8\mu\text{m}$ 、1パルス当りのエネルギー 30nJ (10^{-9} ジュール)の光パルスに変換する。

【0093】この変換された光パルスは、まず分波器33でポンプ光用と信号光パルス用の2系統に分けられ、ポンプ光用の光パルスは分波器34に導入され、信号光パルス用の光パルスは、波長変換器32に入射される。

【0094】まず、分波器34に入射された波長 $0.8\mu\text{m}$ ($=\lambda_2$)のポンプ光用の光パルスは、ここでさらに2分割され、一方は光学遅延路44を経由させ、他方そのまま送られ、合波器35で再度、同一経路に合わせられ、この時点で、光学遅延路44により到達時間の異なる2種のポンプ光パルス列に変換されていることになる。

【0095】同様の処理を、分波器36、光学遅延路45、合波器37により行い、2種のポンプ光パルス列が4種のポンプ光パルス列に変換され、更に同様の処理を、分波器38、光学遅延路46、合波器39により行い、4種のポンプ光パルス列が8種のポンプ光パルス列に変換される。

【0096】このシステムでは、各ポンプ光パルス列間に、それぞれ 2.5ps (10^{-12} 秒)の時間差がつくように、各光学遅延路44、45、46が設定してあり、このようにして生成された8種類の時間差を有する波長ポンプ光パルス列が合波器40に送られるように構成されている。

【0097】なお、これは、信号光とポンプ光の同期信

号を別途電気的手段により測定しなくても増幅効果が得られるようにするため、ポンプ光列とパラメトリック媒体の配列との間に一定の関係が成立するようにした結果である。すなわち、前述の式からパルス間隔 T_1 を求めると、次式の通りであり、

$$T_1 = L_2 \times (n_3 / c_0) \times N$$

これに $L_2 = 50 \mu\text{m}$ 、 $n_3 = 1.5$ 、 $c_0 = 10^8 \text{ m/s}$ 、 $N = 1000$ を代入すると、 $T_1 = 2.5 \text{ ps}$ が得られるからである。

【0098】次に、波長変換器32に入射された信号光用のパルス列は、ここでパルス時間幅100fs、繰返し周波数1kHz、発振波長1.6 μm 、1パルス当りのエネルギー0.6nJの光パルスに変換される。

【0099】この波長変換器32から出力された波長1.6 μm ($=\lambda_1$)の信号光パルス列は、次いで分波器43に導入され、ここで2分割される。そして、まず一方の光パルス列は光量計56に導かれ、ここで電気信号に変換された上で測定システム制御用のコンピュータ60に供給され、信号光パルス列検出用のトリガ信号として使用される。

【0100】次に他方の光パルス列は、光学遅延路47と鏡49を経由して分波器41に導入され、ここで、更に2系統に分岐される。そして、分岐された一方の光パルス列は、参照光として用いるため、鏡50とレンズ53を経由して第2高調波発生結晶58に導かれ、他方の光パルス列は、信号光パルス列として用いるため、鏡48を経由して合波器40に導かれる。

【0101】次に、こうして生成した波長 λ_2 ($=0.8 \mu\text{m}$)のポンプ光パルス列と、波長 λ_1 ($=1.6 \mu\text{m}$)の信号光パルス列を、本発明による光パラメトリック増幅素子に導入し、その増幅効果を測定するための光学系について説明する。

【0102】上記したように、ポンプ光パルス列と信号光パルス列は合波器40で同一の光学経路に合わされ、レンズ51を介して光パラメトリック増幅素子54に入射される。この光パラメトリック増幅素子54は、図5により説明した方法で作成されたものである。

【0103】光パラメトリック増幅素子54を透過し、出力されたポンプ光パルス列と信号光パルス列は、レンズ52を介して取りだされた後、波長分割型分波器42に入射され、ここで、まずポンプ光パルス列と信号光パルス列に分割され、これにより、波長 λ_2 のポンプ光*

*パルス列は光吸収媒体55に導びかれて吸収され、波長 λ_1 の信号光パルス列だけがレンズ53を介して第2高調波発生結晶58に導かれるようにする。

【0104】第2高調波発生結晶58には、分波器43で分岐された参照光パルス列が入射されているので、ここで、信号光パルス列と参照光パルス列とが一緒にされる。このとき、これら2種のパルス列については、到達時間が同じになるように光学遅延路47を調整しておく。

【0105】この結果、第2高調波発生結晶58中で信号光パルス列と参照光パルス列の双方の第2高調波が発生し、これが赤外線フィルタ59を介して光量計57に入射され、これらの光量を表わす電気信号が発生し、コンピュータ60に供給され、これにより、コンピュータ60は、この光量計57からの電気信号により信号光強度計測値を計算し、出力するようになっている。

【0106】次に、測定処理について説明する。光パラメトリック増幅素子54には、上記したように、ポンプ光パルス列と信号光パルス列がそれぞれ導入されているが、このとき、ポンプ光パルス列の経路にはシャッタ61が、そして、信号光パルス列の経路には光学シャッタ62がそれぞれ設けてあり、これにより、光パラメトリック増幅素子54に対するポンプ光パルス列と信号光パルス列の入射と遮断が任意に制御できるようにしてある。

【0107】そこで、まず、この光パラメトリック増幅素子54では、自発的パラメトリック発振が起こるか否かを確認するため、シャッタ61を閉じ、シャッタ62を開いて、ポンプ光パルス列だけが光パラメトリック増幅素子54に導入されている状態にしたところ、表1に示すように、このときの信号光強度は0であり、従って自発的パラメトリック発振は起きないことが確認された。

【0108】次に、反対に、シャッタ61を開き、シャッタ62を閉じて、光パラメトリック増幅素子54に信号光パルス列だけを導入したところ、信号光が検知されたので、このときの強度計測値を、表1に示すように、1.0とする。そこで、最後に、シャッタ61、62の双方を開いて測定を行ったところ、このときの信号光強度は、表1に示すように、4.2となった。

【0109】

【表1】

シャッタ(61)	シャッタ(62)	信号光強度計測値 (任意単位)
開	閉	0
閉	開	1.0
開	開	4.2

【0110】従って、図5により説明した方法で、図1で説明した本発明の実施形態による光パラメトリック増幅素子によれば、自発的パラメトリック発振によるノイズを十分に抑えながら、確実に信号光の増幅が得られることが判った。

【0111】一方、比較のため製作したポーリング処理を施していない素子を、図5の光学系中に配置し、同様の評価を行った結果は以下の通りである。すなわち、まず、シャッタ61を開き、シャッタ62を閉じて信号光パルス列だけを導入したところ、信号光だけが検出され、この計測値を1.0とした。

【0112】次に、シャッタ61、62の双方を開いて、同じく測定したところ、計測値は1.0であり、従って、この場合には、全く光増幅されないことが確認できた。

【0113】次に、本発明の実施に必要な各種の要件について説明する。まず、本発明の実施形態に用いる光パラメトリック効果を示す媒体としては、ニオブ酸リチウム(Li Nb O_3)又はヨウ素酸リチウム(Li I O_3)などの無機結晶、砒素化ガリウム(Ga As)又は砒素化ガリウム(Ga As)或いは窒化ガリウム(Ga N)、セレン化亜鉛(Zn Se)などの化合物半導体のバルク及び低次元結晶、2-メチル-4-ニトロアニリン($\text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_3(-\text{CH}_3)-\text{NO}_2$)又は4-メチル-4-トラン($\text{H}_3\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CN}$)などの有機化合物、又はそれらを分散或いは結合させた高分子化合物、などの各種2次の非線形光学材料を用いることができる。

【0114】これら光パラメトリック効果を示す媒体は、単体のときは結晶又は非結晶の状態で、塊状、平板状、繊維状、粉末状、薄膜状に形成して用いることができる。また、これらの形状において、異種材料、或いは本発明の構造の異なる他の材料と共存、混在させて用いることができる。特に、これらの具体的応用例としては、通信用の光導波路、光ケーブル、光集積回路、2次元論理素子等が挙げられる。

【0115】本発明の実施形態において、光パラメトリック効果を示す媒体を結晶状態で用いる場合、その結晶形成法としては、例えば、ブリッジマン法、温度降下法、溶媒蒸発法、溶剤組成変化法など、各種の公知の方法がある。また、非結晶状態で用いる場合には、ポリメタクリル酸メチル、ポリイミド等の高分子材料に分散させることができる。

【0116】また、これらの媒体に、光パラメトリック効果発現のための電場又は磁場によるポーリング処理を施すことができる。或いは部分的イオン交換法により位相反転分布構造を取らせることもできる。さらに各種薄膜形成技術、例えばスピニングコート法、スバツタ法、真空蒸着法、分子線蒸着法、液相エピタキシャル法、原子層エピタキシャル法、などを用いることもできる。

【0117】次に、本発明による光パラメトリック増幅素子を形成するためには、必要とされる光パルスの特性に応じて、各種の精密加工技術を用いることができる。例えば、精密ダイヤモンド切断加工、レーザ加工、エッチング加工、フォトリソグラフィ、反応性イオンエッチング、集束イオンビームエッチング、などが挙げられる。また、予め加工された光パラメトリック効果を示す媒体を多層化、もしくは一定の間隔で配置、またはその状態で封止することができる。

10 【0118】次に、共存、混在することができる他の材料としては、無機物質と有機物質がある。まず、無機物質としては、例えばガラス、水晶、ダイヤモンド、二酸化ケイ素、雲母、大理石、方解石、単結晶シリコン、非晶質シリコン、 GaP 、 CdS 、二水素リン酸カリウム、三水素リン酸カリウム、臭化カリウム、ロッシェル塩、硫酸銅、フッ化カルシウム、グラファイト、二酸化錫、チタン酸バリウム、赤血塩、陶磁器、セラミックス、ベントナイト、セメント等や金属または合金を用いることができる。

20 【0119】また、有機物質としては、例えばポリカーボネート、ポリスルホン、ポリアリレート、ポリエステル、ポリアミド、ホリイミド、ポリシロキサン、ポリエチレンテレフタレート、ポリ酢酸ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、アクリル樹脂、ポリブタジエン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、石油樹脂、メラミン樹脂、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、イソプレングム、エチレン・プロピレングム、ノルボネン樹脂、シアノアクリレート樹脂、スチレン樹脂、及びこれらの樹脂の共重合体、もしくは、セルロース、澱粉、キチン、寒天、絹糸、ナイロン糸、アルブミン、グロブリン、その他蛋白質、木質、骨粉等が挙げられ、低分子の有機物質としてナフタレン、アントラセン等の縮合芳香族化合物、染料、顔料、尿素、酒石酸、光学活性アミノ酸等が挙げられる。

【0120】本発明の光パラメトリック増幅素子は、製品の形成後に、外観、特性の向上や長寿命化のための処理を行ってもよい。こうした後処理としては熱アニーリング、放射線照射、電子線照射、光照射、電波照射、磁力線照射、超音波照射等が挙げられる。さらにその素子を各種複合化、例えば接着、融着、電着、蒸着、圧着、染色、溶融成形、混練、プレス成形、塗工等、その用途又は目的に応じた手段を用いて複合化させることができる。

【0121】本発明による光パラメトリック増幅素子では、特に、クラッド層に囲まれたコアとなるべき空間に光パラメトリック効果を示す媒体を充填することにより、より少ない入射光強度でも効果的に光増幅効果を引き出すことができる。

50 【0122】また、特に波長1.3 μm から1.5 μm 帯の光通信用の信号光パルスを対象とする光パラメトリ

ック増幅素子として、本発明による光パラメトリック増幅素子を適用する場合は、波長0.65 μ mから0.8 μ mのGaAlAs半導体レーザやチタンドーブサファイア固体レーザなどを、ポンプ光パルスの光源としてに用いることができる。さらに、このとき、これらレーザを、光導波路や光ファイバを組み込んだ一体型の素子とすることも可能である。

【0123】本発明による光パラメトリック増幅素子、又はそれを組み込んだ各種素子は、例えば光波長変換素子、光変調器、光スイッチ、光メモリ、光混合器、光位相分別器、光位相共役鏡、画像表示素子、画像印刷素子などの各種の光機能素子に応用することができる。

【0124】特に、ポンプ光パルスに対して、他の外部信号情報、例えば可視域の画像情報等を重畳することにより、通信波長域の光パルス列に対して、信号を書き込み伝送する素子としても用いることが可能である。

【0125】

【発明の効果】本発明によれば、信号光パルスとポンプ光パルスに同期性をもたせなくても、ポンプ光によるノイズ光の発生を十分に抑制できるので、長距離光通信の中継器のように、必ずしも同期性のとれていない信号光パルスを、その到達時刻を別途計測することなく、増幅することができ、この結果、本発明によれば、特に電気的

信号処理が高速に行えないテラビット以上の超高速光通信において極めて有効な光信号中継器を容易に実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光パラメトリック増幅素子の一実施形態の基本構造を示す説明図である。

【図2】本発明による光パラメトリック増幅素子の動作を従来技術と比較して示した説明図である。

【図3】本発明による光パラメトリック増幅素子の動作を示す説明図である。

【図4】本発明による光パラメトリック増幅素子を用いた光中継器の一実施形態を示すブロック図である。

【図5】本発明による光パラメトリック増幅素子の作成手順の一実施形態を示す説明図である。

【図6】本発明による光パラメトリック増幅素子の一実施形態における電極パターン図である。

【図7】本発明による光パラメトリック増幅素子のを対象とした光パラメトリック増幅効果を確認するための光学系の構成図である。

【符号の説明】

- 1、3、5、7、9、11 光パラメトリック媒体(光パラメトリック発振効果を示す媒体)
- 2、4、6、8、10 光学媒体(光パラメトリック発振効果を示さない光透過性の媒体)
- 12 基板
- 13 光パルスの入射端
- 14 光パルスの出射端

15 ポンプ光用高繰り返しレーザ

16、20 光混合素子

17 第1の光パラメトリック増幅素子

18、22 波長分割素子

19 光学遅延素子

21 第2の光パラメトリック増幅素子

23 光吸収体

24 光入力端子

25 光出力端子

26 基板

27 透明電極

27' パターン形成された透明電極

28 非線形光学分子を分散させた高分子層

28' ボーリング処理後の非線形光学分子を分散させた高分子層

29 金電極

30 アルゴンガスレーザ励起のチタンサファイアレーザ

31 再生増幅器

32 波長変換器

33、34、36、38、41、42、43 光分波器

35、37、39、40 光合波器

44、45、46、47 光遅延路

48、49、50 鏡

51、52、53 レンズ

54 本発明による光パラメトリック増幅素子

55 光吸収媒体

56、57 光量計

58 赤外線フィルタ

60 測定系制御用コンピュータ

61、62 シャッタ

L1 光パラメトリック媒体の光パルス進行方向の長さ

L2 光学媒体の光パルス進行方向の長さ

L3 光パルスが通る光導波路の高さ

L4 光パルスが通る光導波路の幅

P1 第1の光パラメトリック媒体

P2 第2の光パラメトリック媒体

P3 第3の光パラメトリック媒体

x0 光導波路中の光パルス進行方向の第1の光パラメトリック媒体の入射位置

x1 光導波路中の光パルス進行方向の第1の光パラメトリック媒体の出射位置

x2 光導波路中の光パルス進行方向の第1の光パラメトリック媒体の入射位置

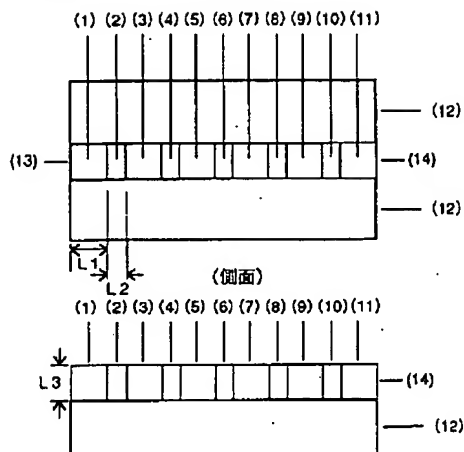
x3 光導波路中の光パルス進行方向の第1の光パラメトリック媒体の出射位置

x4 光導波路中の光パルス進行方向の第1の光パラメトリック媒体の入射位置

x5 光導波路中の光パルス進行方向の第1の光パラメトリック媒体の出射位置

【図1】

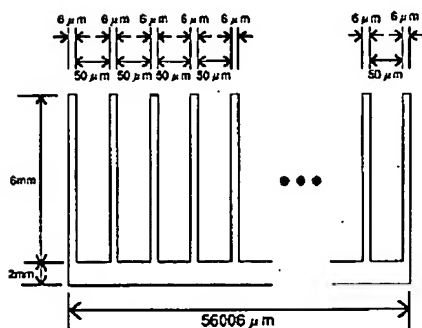
【図1】 (上面)



- 1, 3, 5, 7, 9, 11 光パラメトリック媒体
2, 4, 6, 8, 10 光学媒体 (端面)
12 基板
13 光パルスの入射端
14 光パルスの出射端 (1) ~ (11)

【图6】

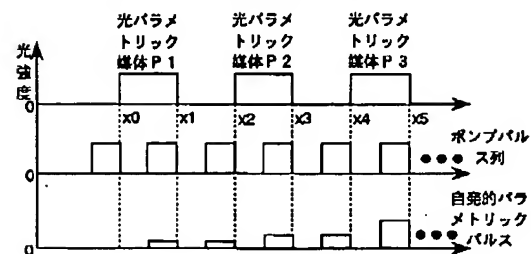
【圖 6】



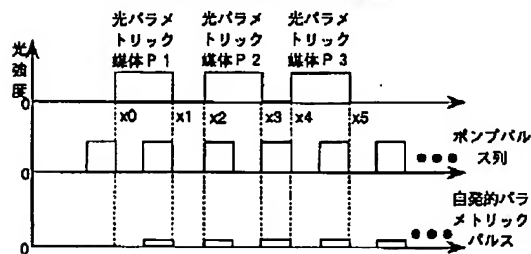
【図2】

【图 2】

(8) (従来のパラメトリック増幅素子)



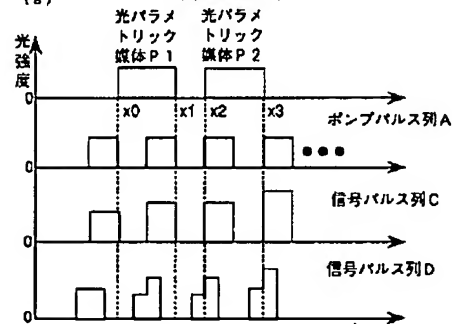
(b). (本発明のパラメトリック増幅素子)



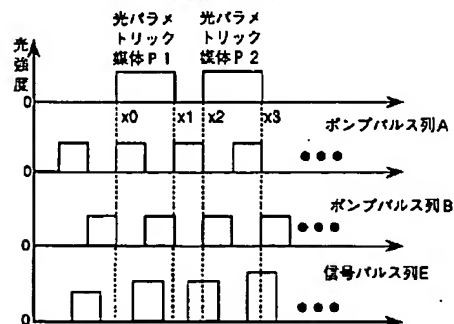
【図3】

【例 3】

(a) (動作原理1)

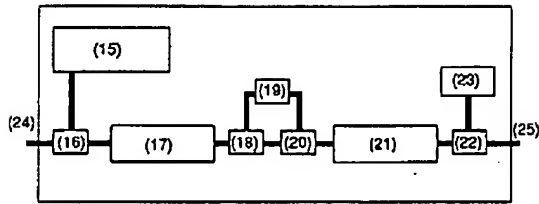


(b) (動作原理 2)

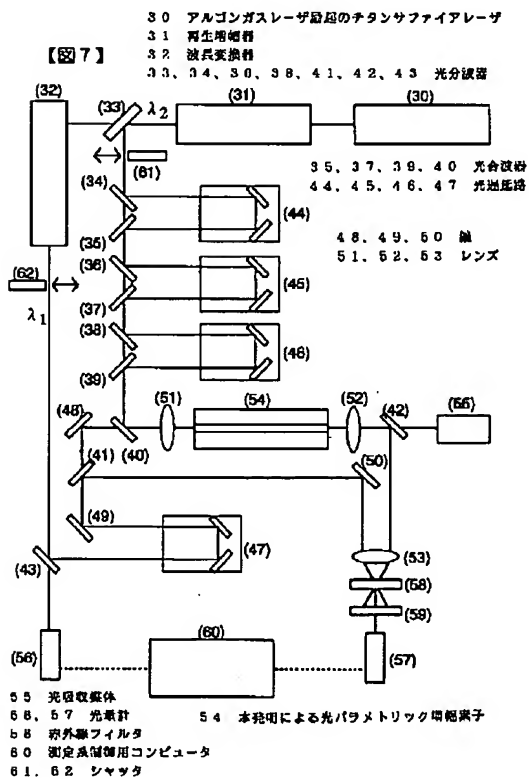


【図4】

【図4】

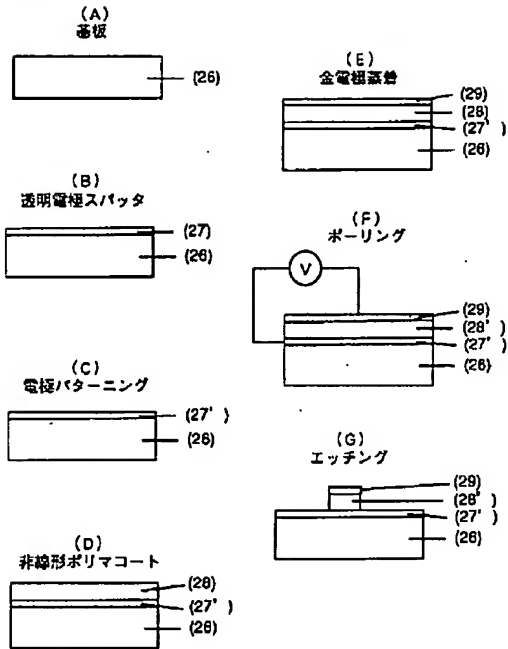


【図7】



【図5】

【図5】



BEST AVAILABLE COPY

First Hit

End of Result Set



Generate Collection

Print

L8: Entry 1 of 1

File: JPAB

Jun 26, 1998

PUB-NO: JP410170967A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10170967 A

TITLE: OPTICAL PARAMETRIC AMPLIFYING ELEMENT

PUBN-DATE: June 26, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
IMANISHI, YASUO	
ISHIHARA, SHINGO	

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HITACHI LTD	

APPL-NO: JP08332140

APPL-DATE: December 12, 1996

INT-CL (IPC): G02 F 1/39

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical parametric amplifying element that has a small chirp and can generate a large-amplitude light pulse train with pulse time width of ≤ 10 picoseconds.

SOLUTION: Optical parametric media (media showing optical parametric oscillation effect) 1, 3, 5, 7, 9 and 11 and optical media (light-transmissive media showing no optical parametric oscillation effect) 2, 4, 6, 8 and 10 are arranged alternately to form an optical path extending from an incidence end 13 for light pulses to an emission end 14 for light pulses; and a signal light pulse train and a pump light pulse train are made incident on the light pulse incidence end 13 and an amplified signal light pulse train is obtained from the light pulse projection end 14. Consequently asynchronous signal light pulses are amplified with low noise without separately measuring their arrival time.

COPYRIGHT: (C) 1998, JPO

BEST AVAILABLE COPY